

# KRIGAGEM E REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS PARA ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS

*Maycon P. Hollanda<sup>1</sup>, Roberto A. Cecílio<sup>2</sup>, Kennedy R. da Silva<sup>3</sup>, Edvaldo F. dos Reis<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>CCA-UFES, Alegre – ES, mphollanda@hotmail.com

<sup>2</sup>CCA-UFES, Alegre – ES / Dept<sup>o</sup>. de Engenharia Florestal, racecilio@yahoo.com.br

<sup>3</sup>CCA-UFES, Alegre – ES, kennedyfloresta03@hotmail.com

<sup>4</sup>CCA-UFES, Alegre – ES / Dept<sup>o</sup>. De Engenharia Rural, edreis@cca.ufes.br

**Resumo-** A intensidade e a duração das chuvas, associadas à frequência de ocorrência de eventos extremos são as características da precipitação normalmente utilizadas em estudos relativos à erosão dos solos, dimensionamento de obras hidráulicas, planejamento agrícola, dentre outros. A relação entre essas características de precipitação pode ser feita por intermédio das equações de chuvas intensas. A inexistência dessa equação na localidade onde vai ser realizado um projeto qualquer pode ser contornada interpolando-se valores conhecidos dos parâmetros das equações de chuvas intensas (“K”, “a”, “b”, “c”). Objetivou-se neste trabalho, comparar dois métodos para interpolação dos referidos parâmetros. Foram aplicados os métodos de Krigagem linear (KGI), exponencial (KGe), esférico (KGs) e Redes Neurais Artificiais (RNA’s). A interpolação dos parâmetros utilizando as RNA’s apresentou melhor resultado para estimativa dos parâmetros das equações de chuvas intensas. Todavia em ambos os métodos de interpolação os baixos valores do índice de confiança (c) obtidos indicam que o desempenho dos interpoladores e redes foram tomados como péssimo.

**Palavras-chave:** interpoladores, equação de chuvas intensas, geoestatística

**Área do Conhecimento:** Agrometeorologia

## Introdução

A intensidade e a duração das chuvas, associadas à frequência de ocorrência de eventos extremos são as características de precipitação normalmente utilizadas em estudos relativos à erosão dos solos, dimensionamento de obras hidráulicas, planejamento agrícola, dentre outros.

A relação entre essas características de precipitação pode ser feita por intermédio das equações de chuvas intensas ou equações de intensidade-duração-frequência. A obtenção destas equações requer um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas, o que torna sua disponibilidade extremamente limitada. A inexistência dessa equação em localidades onde serão realizados quaisquer projetos pode ser contornada utilizando-se os valores de localidades climaticamente homogêneas ou interpolando-se valores conhecidos dos parâmetros, obtidos nas proximidades do local de interesse (BELTRAME et al., 1991). Todavia, é necessário definir quais as técnicas de interpolação são mais adequadas para cada situação específica. Além disso, a desconsideração da altitude do terreno no emprego dessas técnicas tem levado a estimativas muitas vezes não satisfatórias. Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos com a finalidade de avaliar melhores formas para estimativa e espacialização

dos parâmetros das equações de chuvas intensas, destacando-se aqueles realizados por Cecílio & Pruski (2003), para o Estado de Minas Gerais, e por Mello et al. (2003), para o estado de São Paulo.

A utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA’s) em conjunto com modelos digitais de elevação do terreno tem sido uma alternativa viável para substituir os métodos tradicionais de interpolação, pois são modelos computacionais que simulam a estrutura e o funcionamento do cérebro humano, podendo, deste modo, estabelecer relações entre variáveis independentes para estimar variáveis dependentes, mesmo em problemas de grande variabilidade espacial e dependência de relevo, como é o caso das características da precipitação. No Estado do Espírito Santo, existe pouca disponibilidade de dados relativos aos parâmetros das equações de chuvas intensas, sendo de grande demanda o desenvolvimento de uma técnica para estimativa e espacialização destes parâmetros.

Tendo em vista a importância do conhecimento das equações de chuvas intensas, a dificuldade de sua determinação e a facilidade de interpolação dos parâmetros, quando se tem conhecimento de um número razoável destes, o presente trabalho tem como objetivo comparar pelos métodos da Krigagem geoestatística e RNA’s, as estimativas

dos parâmetros (“K”, “a”, “b”, “c”) para o Estado do Espírito Santo.

## Metodologia

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação, representada por:

$$I_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que  $I_m$ : intensidade máxima média de precipitação ( $\text{mm h}^{-1}$ ); T: período de retorno (anos); t: duração da precipitação (minutos); K, a, b, c: parâmetros relativos à localidade.

Utilizaram-se como base de dados, informações de latitude, longitude e valores dos parâmetros das equações de chuvas intensas (“K”, “a”, “b”, “c”) obtidos por Silva et al. (1999) e por Freitas et al. (2001), assim como, informações de altimetria do Projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e obtidas de Miranda (2005), para 20 estações pluviográficas localizadas no Estado do Espírito Santo (Figura 1).

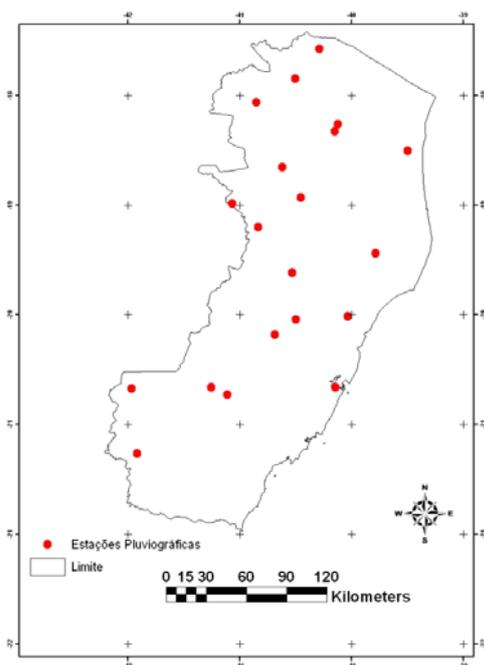


Figura 1 – Localização das estações pluviográficas no Estado do Espírito Santo.

Com a finalidade de aumentar a capacidade de generalização das RNA's e minimizar o problema do tamanho da amostra, utilizou-se a técnica de treinamento por validação cruzada conhecida como “deixando um de fora” (Leaving one out), onde, cada caso na amostra é usado como um caso de teste, e os demais são usados para

projetar o classificador. Seguindo o procedimento idealizado por Moreira et al. (2005), treinou-se por meio do software MatLab®, RNA's retroalimentadas do tipo 3- $n_1$ - $n_2$ -1: um vetor de entrada com três variáveis, duas camadas intermediárias com  $n_1$  e  $n_2$  neurônios artificiais e um neurônio na camada de saída. O vetor de entrada foi composto pelos valores da latitude e da longitude de cada estação, em graus decimais, bem como pelo valor de sua altitude, em metros. No neurônio da camada de saída empregou-se a função linear sigmoidal para fornecer o valor do parâmetro da equação de chuvas intensas (“K”, “a”, “b” ou “c”) referente à estação representada pelo vetor de entrada.

As RNA's foram treinadas utilizando o algoritmo de aprendizado de Retropropagação do Erro (Levenberg-Marquardt), que é um algoritmo iterativo para minimizar o erro quadrático médio entre o valor simulado e o valor esperado do parâmetro (“K”, “a”, “b” ou “c”) na amostra de treinamento. Em virtude do pouco tempo disponível para desenvolvimento das RNA's, não foram testadas diferentes combinações de números de neurônios nas camadas intermediárias e foram mantidas as funções de ativação e regra de treinamento citadas anteriormente.

Para avaliar a eficiência dos interpoladores, foram realizadas interpolações dos parâmetros da equação de chuvas intensas (“K”, “a”, “b”, “c”) seguindo a metodologia proposta por Caruso & Quarta (1998), em que, para a realização da interpolação, um posto específico é extraído. Assim é possível obter o valor estimado relativo do posto retirado e posteriormente compará-lo com o valor real da variável. Os valores de “K”, “a”, “b”, “c” foram interpolados para cada estação, por meio do software Surfer® com a utilização dos seguintes métodos de Krigagem linear (KGI), exponencial (KGe) e esférico (KGs). Ressalta-se que tal procedimento foi realizado separadamente para cada um dos 20 postos utilizados no estudo.

A comparação entre o desempenho dos interpoladores e das RNA's, foi feita por intermédio de dois índices estatísticos que comparam os valores reais com os estimados: a raiz do erro quadrático médio (REQM) (equação 2) e o índice de confiança (c), proposto por Camargo & Sentelhas (1997) apresentado na Tabela 1, que permitiu analisar conjuntamente a precisão e exatidão dos resultados obtidos, sendo calculado pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981) (equação 3).

$$REQM = \frac{\sqrt{\sum (X_{est} - X_{real})^2}}{N} \quad (2)$$

em que REQM: raiz do erro quadrático médio;  $X_{est}$ : valor estimado da variável;  $X_{real}$ : valor real da variável; N: número de postos considerados, no caso 20.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{E}|)^2} \quad (3)$$

em que N: número de postos considerados, no caso 20;  $O_i$ : valor do parâmetro observado na estação i;  $E_i$ : valor do parâmetro estimado para a estação i.

Tabela 1 – Critério para avaliação do desempenho com base no índice de confiança (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

## Resultados

Nas Tabelas de 2 a 5 estão apresentados os valores médios de REQM e c calculados para os quatro parâmetros da equação de chuvas intensas (“K”, “a”, “b”, “c”), obtidas dos interpoladores e redes avaliadas

Tabela 2 - Valores médios de REQM e c para o parâmetro K nos diferentes interpoladores e redes.

Métodos	K	
	c	REQM
KGI	0.03	1812.15
KGe	0.04	2018.05
KGs	0.02	1831.17
RNA's	0.10	1661.26

Tabela 3 - Valores médios de REQM e c para o parâmetro a nos diferentes interpoladores e redes.

Métodos	a	
	c	REQM
KGI	0.00	0.02
KGe	0.00	0.02
KGs	0.04	0.03
RNA's	0.21	0.02

Tabela 4 - Valores médios de REQM e c para o parâmetro b nos diferentes interpoladores e redes.

Métodos	B	
	c	REQM
KGI	0.03	15.39
KGe	0.02	15.94
KGs	0.00	15.64
RNA's	0.09	14.02

Tabela 5 - Valores médios de REQM e c para o parâmetro c nos diferentes interpoladores e redes.

Métodos	C	
	c	REQM
KGI	0.01	0.13
KGe	0.01	0.13
KGs	0.03	0.14
RNA's	0.11	0.12

## Discussão

Nas Tabelas de 2 a 5 são apresentados os valores dos índices REQM e c calculados para a amostra de teste considerando as RNA's desenvolvidas e as três interpolações realizadas pelo método da Krigagem, sendo que pela sua análise, pode-se confirmar que dentre os métodos avaliados, as RNA's foram as que apresentaram em média, os menores valores de REQM, o que leva à conclusão em uma primeira análise, de que este método seria o mais indicado para a estimativa dos parâmetros das equações de chuvas intensas. Tais resultados, de certa forma, apontam na direção contrária dos encontrados por Mello et al. (2003) no Estado de São Paulo, que evidenciaram que o interpolador Krigagem apresentou melhores estimativas.

Com base apenas nos valores de REQM, pode-se, por meio da tabela 3, observar um bom desempenho do método da Krigagem para interpolação do parâmetro a, porém a análise individual dos parâmetros não tem significado físico, uma vez que a aplicação da equação de chuvas intensas é uma combinação de todos os parâmetros, interessando, portanto, a chuva intensa gerada pela equação como um todo.

Ainda com relação às Tabelas de 2 a 5, evidenciam-se baixos valores do índice de confiança (c), variando entre 0,00 e 0,21. Tais valores indicam, de acordo com a Tabela 1, que todos os métodos de interpolação avaliados apresentaram um péssimo desempenho.

O péssimo desempenho dos interpoladores está relacionado com a não consideração da altitude do terreno, juntamente com o reduzido número de estações. A junção desses dois fatores proporciona uma pior estimativa dos parâmetros

("K", "a", "b", "c"), pois com isso, tem-se um reduzido número de amostragens e conseqüentemente uma má distribuição dos dados.

O péssimo desempenho das redes, além de estar relacionado com o reduzido número de estações, tem como importante fator sua arquitetura, no que diz respeito ao teste de diferentes combinações de número de neurônios, funções de ativação nas camadas intermediárias, números de iterações e regras de treinamento. A variação dessa arquitetura tem como objetivo ajustar a melhor combinação, com o propósito de promover melhores resultados na estimativa dos parâmetros. O pouco tempo disponível para desenvolvimento das RNA's não permitiu o teste de diferentes combinações de números de neurônios e foram mantidas as funções de ativação e regra de treinamento citadas anteriormente.

Este resultado, mais uma vez indica a necessidade de se avaliar a intensidade de precipitação calculada com a utilização dos valores interpolados, como realizado por Cecílio & Pruski (2003), e não apenas o valor dos parâmetros K, a, b e c, como realizado no presente trabalho e no trabalho de Mello et al. (2003).

## Conclusões

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

1. As RNA's desenvolvidas apresentaram melhor desempenho estatístico, sendo mais indicadas para a especialização dos parâmetros das equações de chuvas intensas ("K", "a", "b", "c").
2. Existe necessidade de desenvolvimento de novas técnicas para estimativa dos parâmetros no Estado do Espírito Santo.
3. A avaliação do desempenho dos interpoladores deve ser feita analisando-se os valores de intensidade de precipitação calculados a partir da equação de chuvas intensas aplicada com os valores interpolados dos parâmetros.

## Referências

- BELTRAME, L.F.S.; LANA, A.E.L.; LOUZADA, J.A.S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre: IPH, UFRGS, 1991.69p.

- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.

- CARUSO, C. e QUARTA F. Interpolation Methods Comparison. **Computers Mathematical application**. v.35, p. 109-126, 1998

- CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

- FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A.; PEREIRA, S.B.; GOMES FILHO, R.R.; TEIXEIRA, A.F.; BAENA, L.G.N.; MELLO, L.T.A.; NOVAES, L.F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.

- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:925-933, 2003.

- MIRANDA, E.E. (Coord.). Brasil em relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 9 de junho de 2006.

- MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; SILVA JÚNIOR, J.L.C.; PINTO, F.A.C.; MEDEIROS, S.S. Uso de redes neurais artificiais para a estimativa das normais das temperaturas médias mensais e anuais na região Nordeste. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 16, 2005, Campinas. **Anais**. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Campinas, 2005. (CD-ROM)

- SILVA, D.D.; PINTO, F.R.L.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A. Estimativa e especialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, v.18, n.3, p11-21, 1999.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.